臺灣果樹產業因應全球氣候變遷之關鍵技術
—人工智慧型栽培環境自動調控系統

施昭彰*
行政院農業委員會農業試驗所作物組

摘要

臺灣地處亞熱帶之溫暖地區，又因四周環海而得以維持相對較為穩定之氣象環境，惟每年各種農作物仍因氣象變異而引起不同生理障礙，導致產量與品質受到不等程度影響。近年來氣候快速變遷使得天氣起伏更加明顯，為了獲得優質農作生產及安全農產品，並調節產期和市場供銷，以作物生理資料配合經濟有效的自動化環境調控技術在設施下之生產模式已漸成趨勢。在環境控制之設施內可以營造作物生育最佳環境，又能避免病蟲害發生之環境條件，實施非農藥之植物保護措施。若再加上節能減碳相關技術，將有機會使得設施栽培成為臺灣農業未來的發展重點方向之一。透過人工智慧型栽培環境自動調控系統於設施栽培，除了可以克服作物之生理障礙，又可改善生育環境，提供作物生育之最佳情境。目前在蓮霧及枇杷之花芽分化誘引、催花、產期提前、品質提升及有機化生產等作業，以及梨樹之低溫需求與果實成熟期之調控均已見初步應用，另在某些設施作物病蟲害之生態及物理與生物防治上也顯現卓越功效。

關鍵詞：精準、果園、水分管理、多功能、自動灌溉噴霧系統。

The Key of Taiwan Fruit Trees Industry to Cope with Global Climate Change—The Automatic Multifunctional Environmental Control System

Jau-Chang Shih*

Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 41362, Taiwan ROC

ABSTRACT

Taiwan is located in the subtropical region with warming climate. There are various types of climatic disasters occurring during the year, such as typhoon, flooding, low temperature and drought, which lead to physiological disorders on different fruit trees. Cultivation under structure using the developed automatic multifunctional environmental control system seems a promising and feasible way to solve the problems, especially under global climate change. In orchard, the control system can be applied to force an earlier harvest and ensure better quality and yield of fruits due to the improvement of environmental and physiological regulations. Insect and disease can also be well controlled with the use of such a system.

Key words: Precision, Orchard, Water management, Multifunction, Automatic spraying system.

前言

國內果樹栽培面積達 22 萬公頃，年產量約 275 萬公噸，產值近新臺幣 700 億元，佔農業總生產值 18% (COA 2008)係臺灣最重要的農產業之一。果園中有三分之二位於坡地，由於絕大部分的果樹體型高大不利於設

* 通信作者, sypengshih@msn.com
投稿日期：2010 年 3 月 15 日
接受日期：2010 年 3 月 24 日
作物、環境與生物資訊 7:52-62 (2010)
Crop, Environment & Bioinformatics 7:52-62 (2010)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41362, Taiwan ROC

施生產，幾乎都以露天栽培，因而容易受到天氣影響。果樹又多屬於長期性作物，從營養生長至生殖生長經歷了萌芽、展葉、枝梢生長乃至於花芽分化、花芽發育、休眠、開花、結實等過程，因此成熟採收所需時間少則數月，多則超過 1 年。亦因期程甚長，氣候變遷對其生產衝擊極大。綜合文獻及實務操作，可歸納氣候對果樹生育之主要影響如下列：(1)溫帶果樹之休眠；(2)所有果樹之花芽分化、花芽發育、開花、果實發育及品質；(3)果樹產區之分布及產期；及(4)果樹之病蟲害發生等(Shih 1998a)。所牽涉層面頗廣，影響期間亦漫長。

在果園管理上灌溉、施肥、噴藥及防災等，一直皆是影響果樹開花與結果之重要田間管理項目。特別是灌溉受限於水資源不足及缺乏正確合理用水觀念，絕大多數果園之灌溉未能正確供應，不利於果樹開花及著果，並影響產期、果實產量及品質(Shih 1998b)。近年來更由於農村人力老化和勞動力不足，使得生產成本居高不下，傳統果園之管理方式已難以因應市場之變化及衝擊。因此，果園管理導入現代化觀念及設計，以進行設施化、機械化、自動化及企業化大規模生產，有其重要及急迫性。

臺灣位於亞熱帶之溫暖地域，然而氣象變化大而災害頻率高，每年各種作物均存在因為氣象環境失調引起之各種生理障礙(Shih 1999a)。為了維持穩定生產優質與安全之農產品，並調節產期及市場供銷，以作物生理資料配合經濟有效的自動化環境調控技術(系統)在設施下之生產模式已漸成趨勢。環控系統內容包括了諸如溫濕度(噴霧、水牆、通風換氣等)調控、日長(長日下暗處理、短日下延長光照處理等)調控、土壤濕度(自動灌溉、噴洒等)調控及自動防寒措施等(Shih 1999b)，再組合成可設施周年生產調控之栽培模式。在此等設施下進行農作生產，可以營造出作物生育最佳環境及避免病蟲害發生之情境，因而能夠採行非農藥之植物保護措施。若再加上節能減碳相關技術，將有機會使得設施栽培成為臺灣農業未來的發展重點方向之一。

尤其在臺灣加入世界貿易組織，以及和中國大陸簽訂兩岸經濟架構合作協議(ECFA)後，農業產業可能將發生巨大變化，如何加強未來具有競爭力果樹產業之發展能量，乃農業轉型成功的主要課題之一。政府和產業界應當有此深切體認與寬廣視野，針對仍維持競爭潛力或未來發展機會的產業進行體質改善與變革，才能化危機為契機因勢利導。本文闡述個人淺見，將以下產業規劃有利於達成上述目的者條列於后，提供各界參考：

1. 落葉性果樹，如梨、桃等低需冷性品種，應當加強高品質早果之穩定生產，並以產期及市場區隔保存其等競爭力。
2. 亞熱帶及暖溫帶果樹，如荔枝及枇杷等，其生理代謝對於環境因子尤其是溫度極為敏感，使得果實生產受到地理及氣候侷限與市場保障，經常會因為異常氣候影響而無法穩定生產，應當加強生理調節技術來穩產及早產以滿足市場需求。
3. 熱帶果樹，如蓮霧、印度棗等，這些果實在國內生產有其獨特之技術且僅供鮮食，具備區域生產之競爭優勢，然因易遭寒害、焚風及紅蜘蛛等危害而難以確保生產與品質，應當以環境調節技術改善微氣候以穩定生產。

遮陰及噴灑水霧藉由蒸散吸熱達到降溫或釋放潛熱加溫之做法，長久以來一直是園藝上熟知之有效控溫措施(Shih 1998b)。然而，無論是生產環境之降溫或加溫系統，均必須配合作物生長之生理條件及規律加以機動調節才有意義，也才有實效。作者曾針對前述收集國外有關之文獻資料，研發完成人工智慧型自動調控溫溼度系統，用以克服作物之生理障礙並改善生育環境。此一栽培環境自動調控系統已初步應用於蓮霧及枇杷之花芽分化誘引、催花、產期提前、品質提升

及有機化生產等作業。同時也應用於梨樹之滿足低溫需求，達到提前開花及調控果實成熟期之目的，另在某些設施作物病蟲害之生態及物理與生物防治上，亦顯現卓越功效。未來將持續深入檢測及改良，以使系統更加完善(備)，進而延用於其他作物產業。

國內果樹產業因應全球氣候變遷之研發方向

近年來氣候的快速變遷帶來高頻率的極端天氣及氣象災害，為期減輕災害對農業生產造成的傷害，建議以下重點研發方向，提供果樹產業和農政、農研單位之參考。

1. 果樹全域氣候災害(macro-climatic disasters)之防護技術

臺灣果樹之氣象災害包括寒害、霜害、颱風、豪雨、旱災、焚風等，而不同種類及品種的果樹在不同生育期所遭受災損程度差異甚大。根據臺灣農業年報之統計資料，2007年果樹因氣象災害損失之金額高達53億餘元(COA 2008)。分析果樹遭受氣象災害的受損情形，包括枝條折損、落葉、落花、落果等外觀徵狀，以及生長停滯、生理障礙、花芽分化受限等生理性狀，導致減產，受影響部位包括根、莖、葉、花、果實等器官(Chang *et al*. 2008)。雖然果園栽培之果樹不易避免氣象災害的侵襲，藉由適當之因應措施則可以減輕災損程度，並能儘速恢復果樹正常的生長與生產，在管理上屬於相當重要的手段。

針對果樹之氣象災害因應方法，包括「災前預防措施」及「災後復育」二部分。災害發生前的預防措施，如利用氣象預報及氣象與作物資料庫進行果園位置的規劃、耐/抗逆境種類與品種栽培的選擇、配套園藝技術的操作及作物產期的調節等(Chang *et al*. 2008)。災後復育的因應上，主要採取植株復育與田區復耕等措施，包括果園生產環境的復原、植株的復育、田間衛生的管理及病蟲害的防治工作等(Chang *et al*. 2008)。現行果樹產業因栽培種類繁多、產地分布零散、不易設施栽培及產期調節等因素，使得果樹面臨氣象災害時極易發生減產或降低果品價值，造成嚴重生產損失並影響後續數年樹體的生長發育。

臺東和南部沿海地區之海風，瞬間最大陣風可達相當於十一級風，因此易使蓮霧及番荔枝植株發生嚴重落葉、折枝、折斷等傷害，其中又以枋寮地區瞬間最大陣風相當於十五級風為最厲害，該地區蓮霧受損也特別嚴重。另颱風期間大雨使土壤鬆軟，更加惡化強風傾倒果樹情形。對強風防護措施，棚架及支柱均具有良好防護效果，但仍以破風牆藉由強風本身產生之亂流及擾流抵消風勢最佳，乃果園最優防風設計(Shih，中華民國新型專利第 143984 號)。

熱帶果樹之蓮霧在生育期間常遭遇寒害、焚風、雨害及乾濕失調等農業氣象災害，其中焚風、颱風及雨害會使得產期調節措施失敗，乾濕失調則造成經常性裂果(Kuo *et al*. 2004)。若採行設施栽培並輔以栽培環境自動調控系統，可大幅改善上列之生產障礙。臺東地區重要經濟果樹番荔枝，由於地形原因常有焚風危害，利用自動噴水霧裝置於樹冠上方噴施水汽則係解除焚風災害最有效的做法(Shih 1998a)。

2. 提高果園之水分利用效率

目前農業生產使用了臺灣地區水資源的75%，主要利用於稻作生產的灌溉用途。在氣候逐漸暖化及快速變遷環境下，水田的蒸發散損失將更趨旺盛，使得原已不足的農業用水更加短缺(Shen 2000)。未來要發展“攻勢”作物產業，必須調整生產結構，合理規劃各類具有競爭潛力產業之發展，同時重新調配農業用水。除此之外，如何提高包含果樹在內各類農作物之水分利用效率，亦是配套的重要課題。

3. 設施栽培逆境之克服

具有高經濟價值之作物，為期穩定生產並提高品質，通常利用設施栽培的方式來控

制其生長環境。由於未來異常天氣、氣象災害、空氣污染及酸雨等不良環境因素發生頻率均將升高，對於作物的危害則將必然增加，因此可預料設施栽培的使用將更為普及。目前設施栽培遭遇到的各類逆境及問題，未來可能因為氣溫的升高而更為嚴重，因此必須及早研發克服設施栽培逆境之方法以為因應。

4. 防寒、降溫及升溫調控技術之開發

臺灣地區因氣候逐漸暖化及急劇變遷，目前冬季期間許多農地呈現休耕狀態的情形將可改善，未來休耕地被利用的可能性將會大增。由於熱帶果樹的種植範圍可能由南部向中部延伸，因而發生寒害的機率將相對增加。對高經濟價值溫帶果樹而言，盛夏的高溫逆境傷害將可能因為氣候暖化而更為嚴重，而冬季也可能因為低溫不足嚴重阻礙果樹所需之休眠，或因為氣溫太低、太長及陰雨延遲或妨害開花與果實發育。因此，設施果園內之降溫與升溫的調控技術應予研發，以提供果樹有利之生育環境。

國外農作物利用噴霧降溫之技術

1. 利用噴霧降低樹冠微氣候之溫度

為降低自澳洲引進之胡桃樹冠的溫度，南非採用了間歇式噴霧法(Allan *et al.* 1994)，使樹冠溫度下降至介於氣溫與濕球溫度之間，試驗發現以一分鐘的噴霧時間對降溫較有效果，故以持續的間歇噴霧能引導樹冠溫度迅速下降。在高溫的大熱天，一株乾的果樹經噴濕後約 2 分鐘可使樹冠溫度下降 4℃以上，然而約 4~5 分鐘即可使一株噴濕的果樹外表完全蒸發，因此必須持續的間歇噴施水霧。當周遭氣溫超過 45℃時，噴濕的樹冠以紅外線感熱儀偵測之平均溫度為 27℃，對照的乾樹則為 42℃，顯示噴霧之降溫功效十分顯著。

2. 利用噴霧降低果實之溫度

美國華盛頓州立大學利用噴霧降低蘋果之果實溫度，試驗發現所使用的水量以每公頃每秒 6 公升以上之效果較佳。在晴朗無雲氣溫達到 40℃的環境下，每公頃每秒噴 6.25 公升的水霧可以保持蘋果果實溫度接近於水溫範圍，顯示經由以果實溫度為基準的自動蒸發冷卻間歇式之噴霧，能夠達到最少用水量之最佳生理效果(Evans *et al.* 1996)。

3. 應用噴霧降溫調節作物生理以避開不利天候

噴霧降溫能夠調節果樹之休眠需求、抗寒能力及開花時間，並以避開不利天候(Shih 1999b)。微噴霧更是保護作物免於不利環境之有效工具，例如柑桔可因水霧中釋出之潛熱免於霜害(Shih 1999b)。溫帶果樹可因水霧蒸發散熱之降溫而滿足低溫需求，也可因降溫延遲開花以避開霜害，並因調節不同品種花期而利於雜交授粉，又可減少因日燒引起之落果及損傷，改善果皮之著色(如蘋果等)(Spieler 1994)。

(1)桃子及油桃

當樹溫超過 18℃時藉著間歇性噴灑水霧可以延緩〝陽金〞及〝陽富〞油桃及〝佛羅達金〞桃子開花達 14 天之久(Gilreath and Buchanan 1981)，遮陰及噴灑水霧可降低形成層的溫度達 5~10℃，因而延遲收穫期達 5~7 天之久(Buchanan *et al.* 1977)。以色列利用噴霧蒸發降溫促進油桃萌芽有效，當日溫高於 16℃時以樹冠噴霧降溫可降低芽溫 3 至 5℃，而促成葉芽及花芽及早萌發(Erez and Couvillon 1983)。

美國南方晚霜經常會摧殘桃花造成重大損失，因此促使桃樹晚開花之方法具有正面作用，而蒸散降溫被發現可以延緩植株開花，同時對於某些地區之某些年份低溫不足以終止芽體休眠之現象也有助益(Gilreath and Buchanan 1979, 1981)。桃樹於後休眠期開花前自 1 月 1 日起連續噴霧兩個月，蒸發冷卻抑制了桃芽的發育，延遲開花達 10~15 天，結果數亦由 24 個/株增加到 206 個/株，具有顯著防霜效果(Lipe *et al.* 1977)。〝紅哈

芬〞桃子於冬季休眠期終了時(1 月 22 日)，為了延長休眠減少冷凍溫度之傷害，當氣溫高於 4.4℃時進行噴水霧蒸散降溫直至 4 月 15 日盛花時停止，共噴了 1040 毫米的水量，可使花期延遲；最適啟動噴霧系統之乾球溫度為 6.7℃，可降溫約 2℃，並可省水 37% (Barfield *et al*. 1977)。桃休眠芽經噴霧降溫及遮陰之後，芽頂端之分生組織離層酸含量顯著降低，此一結果支持噴霧能經由溫度、光線及淋洗效應影響芽體休眠之觀點(Freeman and Martin 1981)。晚冬桃子樹體休眠完成及春天盛花前進行噴霧處理，蒸發冷卻可抑制花芽發育，使開花延遲達 15 天、樹體溫度下降至 6.5℃，但是木質部耐寒能力無顯著差異；三月初噴霧之花芽耐寒能力優於無噴霧處理者，然三月末噴霧將增加死花數(Bauer *et al*. 1976)。當氣溫高於 7.2℃時，以間歇噴霧(每間隔 75 秒每小時噴 0.2 毫米水霧)於 2 月 11 日起噴施一個月，蒸發冷卻抑制了桃芽的發育，延遲開花達 7~14 天，果實成熟期晚了 4~7 天(Chesness *et al*. 1978)。惟延遲開花雖使霜害減少一半以上，經考量果實延遲成熟、價格降低及設備成本投資等，延遲開花措施並未被推薦農民採用。

(2)蘋果

研究發現於英格蘭東南部進行蒸發冷卻處理，可以抑制蘋果芽的發育，並可延遲開花達 17 天，足夠避開霜害的發生(Hamer 1980)。當蘋果於 2 月 27 日起溫度高於 4.5℃時開始噴霧降溫直到未噴霧處理之樹株滿花時為止，具有延遲開花及避開晚霜之效果。在另一試驗之結果，則顯示蒸發冷卻可抑制蘋果芽的發育，延遲開花達 14 天，惟因噴水造成芽含水量增加，使得芽變得較不能忍受低溫而未沒能達到防霜目的(Hamer 1981)。若於晚冬及春天進行蒸發冷卻，亦可抑制蘋果芽的發育，延遲開花達 3~10 天，而霜害發生的程度則決定於芽的發育程度及含水量(Hamer 1983)。

樹冠微噴霧以蒸發降溫之效果，可延遲開花天數在杏花為 10 天、桃花為 13 天、蘋果則為 18 天，以電子式葉面溼度感應器控制噴霧作業優於一般固定式時間控制器，且成本較低(Hewett and Young 1980)。蘋果樹於 9 月中及 10 月噴霧降溫後，花芽降溫 12.5℃，樹幹降溫 18℃，早秋及冬季之冷凍測試(-10~-21℃)則顯示噴霧可使蘋果樹增加高達 6℃的抗寒力(Raese 1981)。紐西蘭應用噴霧蒸發降溫延遲蘋果開花之做法，係於樹冠內放置溼度感應器控制噴霧作業，如此可較機械式時間控制器減少 24%用水需求(Young *et al*. 1979)。〝紅元帥〞及〝依達紅〞蘋果於超過 8.3℃時以樹冠上噴霧，可延遲盛花 4-7 天，而於氣溫-5 或-8℃時施行蒸散降溫可顯著促進花芽存活，耐寒力約增加 4℃ (Swartz *et al*. 1977)。在英屬哥倫比亞從 4 月 16 日至 5 月 16 日當日曬芽溫高於 7℃時，噴施水霧蒸散降溫可延遲蘋果開花達 17 天，並有效避開霜害(Looney and McMechan 1975)。〝紅元帥〞蘋果當日溫高於 7℃時，以自動噴水霧 2 分鐘之循環方式來蒸散降溫，可降低芽溫約 2℃，延遲開花亦達 17 天(Anderson *et al*. 1975)。

(3)梨樹

噴霧降溫能延遲梨樹開花 8~15 天，使得果實晚熟 0~7 天，且增加著果率及種子含量，卻也使得梨減重 6~12% (Collins *et al*. 1978b)。另由耐凍測試顯示，巴梨的樹勢及花芽發育階段並無耐凍性差異，而蒸發降溫雖可引起花期後延，但是亦將損失花芽耐凍性(Strang *et al*. 1980)。

(4)葡萄

在美國德州生產葡萄之主要風險來自於萌芽前的霜害，從 1 至 4 月當氣溫高於 10℃時，每 4 分鐘噴霧 25 秒可延遲開花達 8 天，又可有效避免霜害(Lipe *et al*. 1992)。在義大利比薩平原之葡萄為了要避開萌芽前的霜害，從萌芽前 30 至 63 天當氣溫高於 8℃時，以溼度感應器自動噴霧降溫可延遲開花 10-12 天，為因不能有效避免霜害而未被推薦(Guerriero *et al*. 1987)。

(5)柑桔

美國佛羅里達州當冬季風平輻射霜形成條件下進行微噴霧，因為可於冰晶形成時釋出溶解熱化冰，而可有效保護年輕柑桔樹幹及分枝免於霜害，但是在乾燥有風結霜的夜晚則無此效果子(Parsons *et al*. 1982）。

(6)草莓

草莓於春天時利用微噴霧系統防霜，可減少芽死亡，在夏天時則可降溫，並利於增產(Goulart *et al*. 1993)。

4. 應用噴霧降溫改善作物生育條件可促進開花、增加產量及改善品質

(1)葡萄

噴霧降溫能促進葡萄提早而整齊的萌芽。〝百烈特〞及〝湯普森帥〞兩種無子葡萄於秋冬季每天從早上 6 點至下午 6 點以樹冠微噴法單獨使用，或配合修剪後噴施氰酸，於直接日照下蒸發冷卻可降低芽溫從 30℃至 16℃，於遮陰下則從 25℃降至 13℃，並促成葡萄提早而整齊的萌芽。以氰酸配合使用時，僅在芽萌初發期有效(Klein *et al*. 1988)。此外，〝百烈特〞噴施氰酸增產 6%，而蒸發冷卻增產 6~24%，二者合用則增產 17~46%；若延長蒸發冷卻時間，可增產 25%，與氰酸配合使用時則僅比未處理者增產 11.6%。

(2)奇異果

Allan *et al*. (1994)在奇異果之試驗研究發現，利用噴霧降溫有助於奇異果打破休眠，改善開花，以及增加著果數及產量。

5. 應用噴霧降溫促進果實著色免於日燒提昇果實品質

一般言，果實著色的發展受到栽培及環境因素影響，環境因素當中以溫度及光最重要。溫度對花青素的累積及紅色的表現有非常顯著的效果，低溫促成花青素的合成而高溫卻抑制此一過程。例如樹冠噴霧降溫對於促進蘋果果皮紅色的表現具有顯著的效果，目前也已在蘋果生產上實用化。降溫除了在溫暖地區減少熱對花青素形成的抑制效應之外，尚可降低果實呼吸率而達到較好果實品質的結果，而樹冠噴霧也因為移去葉表浮塵微粒進而改善光合能力。噴霧蒸散降溫亦可顯著減少蘋果日燒的發生(Kotze *et al*. 1988, Evans *et al*. 1993, Andrews 1995)，增加可溶性固形物及大小(Unrath 1975)，減少苦痘病等生理病變(Unrath and Sneed 1974, Unrath 1975)。在〝紅元帥〞蘋果有促進著色及提高果實成熟與品質之作用(Unrath 1973, Unrath and Sneed 1974)，在〝優納金〞蘋果能降低陽光的傷害達 9.4~15.8%。當沒有噴霧的果實平均溫度達 45.6℃時，噴霧能降低果面的溫度最高達 8.1℃，同時緩和果實溫度的上昇，與暴露於陽光下的果實相比較，遮陰的果實僅能依賴噴霧降低 1~2℃，噴霧降溫能增加酸度，對果實貯藏力有正面的效應(Parchomchuk and Meheriuk 1996)。又使得加州橘郡草莓免於日燒及改善品質(Valentine 1980)。

國內外應用噴霧抑制病蟲害之實例

1. 蟲害之物理防治

噴灑水霧被發現可抑制蘋果歐洲紅點葉蟎、二點葉蟎，控制於不致於造成危害之族群水準下(Olcott-Reid *et al*. 1981)，對於延遲梨木蝨的產卵也有非常顯著效果(Collins *et al*. 1978 a)。在國內的試驗上，本文作者和研究同仁曾以噴水霧抑制甜瓜的二點葉蟎及銀葉粉蝨，其效果十分顯著。

2. 病害之物理防治

噴水霧在病害的防治效果較引起爭議，在美國華盛頓州果樹試驗站的試驗結果，雖發現蘋果瘡痂病、黑星病的發生率在兩年試驗期間的第二年有增加，但是感染比率並沒有在兩年的試驗裡有顯著改變，因此認為影響關鍵可能在於噴霧的時間、頻度、間距及噴水量(Olcott-Reid *et al*. 1981)，惟實際原因仍待釐清。另樹冠噴水霧對梨火傷病發生有利(Collins *et al*. 1978 a)，而本文作者和研究

同仁則發現噴水霧可抑制甜瓜的白粉病。

由以上結果顯示，以噴水霧達到抑制某些病害(如白粉病)而不引起其他病害的發生，仍有許多問提等待解決。首先，必須徹底了解各主要病害之發病環境，探討智慧型噴霧自動化系統短時間歇性噴霧抑制蟲害之效果，解明相關生理效應，以及建立管理病害發生的合理作法，綜合建立有效的因應與管理模式，才能減少化學藥劑的過度施用。

國內應用環境調控技術於果園管理之實例

果園多功能自動噴灌系統係針對果樹產業之規劃提供多元技術上之支援，以達到灌溉施肥合理化、便利化和精確化，進而促成產期可調化及生產保障化等多重目的。可利用於露地及設施栽培之果園多功能自動噴灌系統，通常包含以下三個子系統：(1)灌溉施肥自動化系統，(2)自動化噴霧防災系統，及(3)自動化噴霧生理調節系統。以下就各個系統之目的、作物對象、作用原理及功能逐項說明，以使讀者參酌使用。

1. 果園灌溉施肥自動化系統

本項系統可施用於各類果園，用以建立灌溉施肥自動化生產模式，以達到省水、降低生產成本、管理合理化及提昇果品質量等目的，適用對象為所有具有灌溉施肥經濟效益之果樹作物。

(1)作用原理及實施要項

以電磁感應式土壤水分張力計依果樹作物需水之土壤水分張力狀況，設定達灌溉施肥之水分張力值，進行管路自動化灌溉作業。當土壤水分潛勢值即將踰越作物需給水之設定值時，也就是當土壤變得較乾旱而需要灌水時，電磁感應式水分張力計即自動感應而啟動馬達或/及打開電磁閥灌水，俟水分張力計指針因供水後舒解張力、壓力下降指針偏離感應磁場後停止供水。為防止灌水量與指針感應上之時間落差，應聯結時間控制器遲滯灌溉動作，以精確合理灌溉。為發揮灌溉系統施肥效果，液態肥料可以事先設計規劃，以不同組合肥料液桶配合肥料分注器利用灌溉管路進行自動施肥作業。本系統可以電磁閥及時間控制器分區實施，以大幅降低設施成本，提高使用效能。

(2)執行成果

目前已於國內設立各類果園示範推廣點 14 處，推廣面積 10 公頃以上，並辦理系統之示範觀摩會 4 場，以及編印果園自動灌溉技術手冊及果園多功能防災自動化技術手冊各一份，提供教育訓練農民而加速落實灌溉施肥、防災自動化科技。

2. 果園自動化噴霧防災系統(增溫、降溫、加濕等)

(1)裝設目的

本系統裝設目的在於預防果實因寒流突襲氣溫劇變、結霜造成之生理傷害及落果，回南焚風短時乾熱之氣候造成果實皺縮、燒傷等生理傷害，以及高溫乾燥通風不良氣候造成紅蜘蛛類發生為害葉片的情況。

(2)作物對象

本系統幾乎適用於各種作物對象，惟因經濟效益考量，在以下諸種狀況較合適: 容易因為突發低溫造成傷害之果樹種類，如梨、枇杷、蓮霧等；在焚風肆虐下容易造成傷害之果樹種類，如番荔枝類、枇杷、印度棗、梨、蓮霧等；以及在高溫乾燥氣候下紅蜘蛛類危害較大之果樹，如網室木瓜、印度棗、葡萄、柑桔、桃、枇杷、草莓等。

(3)作用原理及實施要項

(i)預防寒害及霜害。於寒流或霜害來襲前將溫度感應器設定高於寒害或霜害發生之臨界溫度 1～2℃，當低溫來臨時溫度感應器感應到設定低溫，將自動啟動馬達灑水。利用地下水、加溫後的水或熱風加溫水噴灑水霧於果樹樹冠上，在由水之物理性降溫放熱原理緩和驟變之氣溫，形成保護樹冠之緩衝空間。在實施

時應特別注意在臨界低溫下整個系統必須持續運作不能中斷，否則水分蒸發會吸熱使溫度更形降低，造成更大傷害。

(ii)預防回南焚風之乾熱氣候。當回南焚風盛行之前將空氣濕度感應器設定高於會造成焚風傷害之空氣濕度，俟乾熱之空氣吹襲時，空氣濕度感應器自動啟動馬達噴灑水霧，抑制蒸散作用防止果實及葉片因急遽失水造成的皺縮及燒傷。

(iii)防治紅蜘蛛類之發生及危害。一般紅蜘蛛好發於高溫乾燥不通風的環境下，利用自動噴灑水霧的方式改變生態環境，讓紅蜘蛛類生病死亡乃紅蜘蛛防治的最高境界，省錢、省工又不會造成紅蜘蛛抗藥性，此種物理性環境保護效益遠大於生物防治及化學防治。防治要領係當溫度及濕度條件適合紅蜘蛛發生之前，以溫度及濕度感應器啟動自動噴霧管路系統作短時間歇性之噴霧，即能得到很好的效果，同時因間歇式噴霧不會讓病害孢子有機會發芽，能阻絕病害之發生。本系統可以電磁閥及時間控制器分區實施，以降低設施成本，又可提高使用效能。

(4)執行成果

採行本項系統具有預防寒害發生之效果。例如，87 年度農委會農業試驗所於高雄縣六龜鄉及屏東縣鹽埔鄉等兩處裝設各 0.3 及 1.0 公頃示範園，87 年 2 月寒流過後寒害發生率幾乎等於零，而附近之對照組果園則落果十分嚴重，經濟效益非常顯著。在預防焚風危害果實及葉片之成效上，85 及 86 年度農業試驗所於臺中縣新社鄉、苗栗縣大湖鄉及臺東縣太麻里鄉選取四戶枇杷農家裝設此一樹冠上自動灑水防焚風系統，結果顯示其效果十分顯著，不僅能夠有效保護果實及葉片，又可防止過度之蒸散作用及燒燙傷。在防治紅蜘蛛之發生及危害防治成果上，農業試驗所內之枇杷園及溫室裝設此一以溫濕度感應器及時間控制器自動控制之噴霧系統後，紅蜘蛛類已不再發生，同時也少有其他病害發生。

3.自動化噴霧降溫生理調節系統

一般而言，在臺灣具有生產競爭力之果樹種類其生產潛能多半未能充分發揮。在生理方面，影響產期的主要因素在花芽分化的誘引及促成開花結實上，而溫度係控制這些進程的主要環境因子。由於氣候多變化，穩定掌握微氣候因子就成了產業興衰的關鍵因素。本系統之主要功能、實施目的及作物對象如下述。(i)輔助相關配套技術，克服低溫不足問題。在溫暖地區如臺灣，除了育成低需冷性品種來克服低溫不足的問題之外，農場管理上的操作配套對於降低樹體低溫需求也很重要。這些配套技術包括：控制樹體活力；整枝成 43°或水平的型式；防止晚期的營養生長並延遲冬季修剪；使用化學催芽藥劑；遮陰及使用樹冠上微噴技術以蒸散降溫降低芽體溫度等。(ii)高溫期提供合適低溫以改善生育條件或延緩採收。例如，對環境因子中之溫度敏感而能以降溫誘引及穩定花芽分化的果樹作物(如荔枝、柑桔、蓮霧等)，或於果實著色期提供合適低溫以促進著色的果樹作物(如柿、蓮霧、葡萄等)，或於高溫採收期因果實快速成熟品質極易劣化而有採收時間壓力的果樹作物(如桃、李、梨、葡萄等)。

(1)作用原理

利用水的物理性，即每 1 公克水汽化成 1 公克水蒸氣吸熱 539 卡，噴霧能夠實際有效降低果園樹冠內之溫度，對於有低溫需求的果樹可達到調節果樹生理效應的目的。決定水汽化成水蒸氣的速率，在於空氣濕度的高低及風速的強弱，先決因素是濕度，因此以空氣濕度感應器作為降溫的感應器是合理的選擇。當需要噴水降溫時可設定空氣濕度值，讓空氣濕度感應器自動啟動馬達進行樹冠的管路噴霧，並以時間控制器管制間歇性的噴霧動作，以使噴出的水霧有充分的時間汽化，節省用水並防止病害發生。

(2)實施要項

建立經濟有效的人工智慧型自動噴灑水霧蒸散降溫生理調節系統，其必要設計及模式如次。經由試驗測知並建立欲調節作物之生理溫度資料後，設定溫度及相對濕度之生理預設值，以作為調控作物生理之基準。基本上，一套經濟有效的人工智慧型自動噴灑水霧蒸散降溫生理調節系統應包括以下必需配備：(i)獨立濕度系統避雷單元：當大氣濕度達 100%相對濕度時，無條件自動切斷主控系統之電源，以免系統感雷或直接遭受雷擊。(ii)主要控制系統單元：包括大氣溫度感應器、邏輯程控器組、表面濕度感應器、大氣濕度感應器及邏輯程控器組， 此外尚需要時間控制器或樹體溫度感應處理器、邏輯程控器組及分區控制之邏輯模組。各型感應器與邏輯程控器經與已燒錄有不同工作模式之邏輯模組配合，即可執行最佳化之生理調節模式。當大氣溫度在設定之高低臨界溫度範圍內，而樹體表面濕度及大氣濕度低於其生理預設值時，系統啟動馬達進行噴水至樹體全濕後換區噴水。樹體表面濕度感應器於全區每輪次加濕後，自動停止系統供水，以保留時間供樹體表面之水分蒸散吸熱降溫，俟樹體表面完全乾燥而樹體溫度開始回升一定溫度後，始容許下一輪次噴水模式的持續執行。因氣候多變化，所以何時需進行下一輪迴之噴水必須仰賴樹體溫度感應追蹤處理器，因為作物於自動噴霧系統動作後，經水分蒸發吸熱降低樹體溫度之後，樹體溫度會再度緩慢上升。

樹體溫度感應追蹤處理器可於樹體再度上升一定溫度後，下指令進行下一輪迴動作，逢機抓取最低再現溫度，能有效保持最低樹溫及節約水電。運作模式如下：(i)當大氣溫度雖在高低二臨界溫度範圍內，而樹體表面濕度或大氣濕度已到達或高於其生理預設值時，系統不啟動給水。(ii)當大氣溫度在高臨界溫度以上或低臨界溫度以下，則不管樹體表面濕度和大氣濕度如何，系統也不啟動給水。(iii)當大氣溫度在高低二臨界溫度範圍內，而樹體表面濕度和大氣濕度仍低於其生理預設值時，系統啟動馬達給水。為降低設施成本、提高利用效率，本系統可以電磁閥及時間控制器分區實施噴霧動作。此一系統應用於設施栽培乃是利用水牆及風扇換氣，依調控系統的指令進行自動降溫以調節生育環境，避免過熱。

(3)執行成果

設施下蓮霧以噴霧降溫或/和水牆、風扇換氣降溫，誘引及穩定花芽分化的效果極為顯著。甜柿、葡萄以噴霧降溫，促進果實及早著色的效果也極顯著。桃在高溫採收期因噴霧降溫，能極有效延緩成熟並改善果實著色。草莓在傍晚噴霧，能有效降溫並增加日夜溫差，對於提昇果實甜度及大小極為顯著。

4.設施栽培利用光熱能自動增溫系統

在冬春保暖增溫方面，可採取下列節能剪枝措施：(i)以地面塑膠袋中水和地表進行熱交換，充分利用地熱能。(ii)枯枝落葉粉碎還田，大量施用有機肥，借生物機體腐熟分解時產生的熱量提高地溫。(iii)利用屋頂通風換氣，儘量減少夜間設施外冷空氣的進入。(iv)在增溫設備中採用花費最低的原油或液化氣作燃料，並附設廢氣回收利用裝置。(v)不斷研製經濟耐用的被覆材料。(vi)寒流來襲期間利用溫室日光蓄熱，再以自動控溫系統調節溫溼度。

結語

臺灣地區擁有豐富的氣候資源，但因地形和季風的影響，異常天氣及氣象災害相當頻繁。未來臺灣地區氣候變異性會增加，作物遭受空污、酸雨、旱害、雨害、寒害、高溫、風害等逆境傷害的頻率也會增多，因此需加強相關防護措施及技術的研發。受全球氣候變遷的影響，臺灣地區農業生產穩定性亦將變差，確有謀求因應對策的急迫性。

面臨全球市場的自由化及區域分工時代，臺灣的果品產業已不能自外於全球體

系，以往以單一技術取勝即能縱橫市場的時代已然過去。面臨未來的嚴峻競爭情勢，只有從整合產業的各個部門著手，以產業生計(經濟)為目標，從改善生產者及消費者生活著眼，並兼顧環保及生態平衡，才能跳脫於農業經營及氣候變遷的困境。果樹生產設施化並搭配果園多功能自動環境調控系統呼應上述之趨勢，提出整合市場、氣候、植物保護綜合防治、生理及栽培技術等各個部門的主張，針對臺灣現有相對優勢的產業作果園之精準管理以開發全球果品欠期的市場，才是未來強化臺灣果樹產業競爭力的關鍵策略。

引用文獻

Allan P, NA Cullis, MJ Savage, KE Lightbody (1994) Effects of evaporative cooling on macadamia and kiwifruit. **J. South. African Soc. Hort. Sci.** 4:16-20.

Anderson JL, GL Ashcroft, EA Richardson, JF Alfaro, RE Griffin, GR Hanson, J Keller (1975) Effects of evaporative cooling on temperature and development of apple buds. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 100:229-231.

Andrews PK (1995) Evaporative cooling of Fuji apples. **Good Fruit Grower** 46:32-34.

Barfield BJ, GM White, TC Bridges, C Chaplin (1977) Improving water use in sprinkling for bloom delay. **Transac. ASAE** 20:688-691, 696.

Bauer M, CE Chaplin, GW Schneider, BJ Barfield, GM White (1976) Effects of evaporative cooling during dormancy on 'Redhaven' peach wood and fruit bud hardiness. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 101:452-454.

Buchanan DW, JF Bartholic, RH Biggs (1977) Manipulation of bloom and ripening dates of three Florida grown peach and nectarine cultivars through sprinkling and shade. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 102:466-470.

Chang CS, Chen YC, LR Chang (2008) Agrometeorological Disasters Occurred on Fruit Tree in Taiwan and Its Responsive Strategies. (in Chinese with English abstract) **Crop Envron. Bioinform.** 6: 61-71.

Chesness J, C Hendershott, G Couvillon (1978) Evaporative cooling of peach trees to delay bloom. **Georgia Agric. Res.** 19:21-24.

COA (2008) Agricultural Statistics Yearbook, Council of Agriculture. Taipei, Taiwan ROC.

Collins MD, PB Lombard, JW Wolfe (1978a) Effects of evaporative cooling for bloom delay on 'Bartlett' and 'Bosc' pear tree performance. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 103:185-187.

Collins MD, PB Lombard, JW Wolfe (1978b) The effects of evaporative cooling for bloom delay on 'Bartlett' and 'Bosc' pear fruit maturity and quality. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 103:187-189.

Erez A, GA Couvillon (1983) Evaporative cooling to improve rest breaking of nectarine buds by counteracting high daytime temperatures. **HortSci.** 18:480-481.

Evans RG, MW Kroeger, MO Mahan (1993) Evaporative cooling of apples by overtree sprinkling. **Amer. Soc. Agric. Engin.** 93-2060:11.

Evans RG, MW Kroeger, MO Mahan (1996) Evaporative cooling of apples by overtree sprinkling. **Appl. Engin. Agric.** 11:93-99.

Freeman MW, GC Martin (1981) Peach floral bud break and abscisic acid content as affected by mist, light, and temperature treatments during rest. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 106:333-336.

Gilreath PR, DW Buchanan (1979) Evaporative cooling with overhead sprinkling for rest termination of peach trees. **Proc. Flor. S. Hort. Soc. Publ.** 92:262-264.

Gilreath PR, DW Buchanan (1981) Floral and vegetative bud development of 'Sungold' and 'Sunlite' nectarine as influenced by evaporative cooling by overhead sprinkling during rest. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 106:321-324.

Goulart BL, PH Heinemann, T Stombaugh, K Demchak, CT Morrow (1993) Automated irrigation for strawberry production. **Acta Hort.** 348:196-206.

Guerriero NS, R Di Ciano, MLA Bianchi (1987) Three years' results of winter evaporative cooling on grapevines: effects on bud opening and crop characteristics. **Adv. Hort. Sci.** 1:20-26.

Hamer PJC (1980) A model to evaluate evaporative cooling of apple buds as a frost protection technique. **J. Hort. Sci.** 55:157-163.

Hamer PJC (1981)The effects of evaporative cooling on apple bud development and frost resistance. **J. Hort. Sci.** 56:107-112.

Hamer PJC (1983) Evaporative cooling of apple buds: the effect of timing of water application on bud development and frost resistance of the cv. Cox's Orange Pippin. **J. Hort. Sci.** 58:153-159.

Hewett EW, K Young (1980) Water sprinkling to delay bloom in fruit trees. **New Zealand J. Agric. Res.** 23:523-538.

Klein NG, S Lavee, G Spieler, U Barak (1988) Improving grapevine bud break and yields by evaporative cooling. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 13:512-517.

Kotze WAG, JA Carreira, O Beukes, AU Redelinghuys (1988) Effect of evaporative cooling on the growth, yield and fruit quality of apples. **Deci. Fruit Grow.** 38:20-24.

Kuo TC, JM Lai, Y Shen, C Tang, CH Liao, PH Lee, CS Kuo, JJ Huang 2004 Agrometeorological Disaster Protection Techniques for Tropical Fruit Trees in Southern Taiwan. (in Chinese with English abstract) **Res. Bullet. KDARES** 15:1-17.

Lipe WN, O Wilke, O Newton (1977) Freeze protection of peaches by evaporative cooling in the post-rest, pre-bloom period. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 102:370-372.

Lipe WN, L Baumhardt, CW Wendt, DJ Raybush (1992) Differential thermal analysis of de-acclimating Chardonnay and Cabernet Sauvignon grape buds as affected by evaporative cooling. **Amer. J. Enol. Vitic.** 43:355-361.

Looney NE, AD McMechan (1975) Experiments in delaying apple bloom. **Brit. Columbia Orch.** 15:6-7.

Parsons LR, TA Wheaton, JD Whitney (1982) Low volume microsprinkler undertree irrigation for frost protection of young citrus trees. **Proc. Flor. S. Hort. Soc.** 94:55-59.

Parchomchuk P, M Meheriuk (1996) Orchard cooling with pulsed overtree irrigation to prevent solar injury and improve fruit quality of 'Jonagold' apples. **HortSci.** 31:802-804.

Olcott-Reid B, TB Sutton, CR Unrath (1981) Evaporative cooling irrigation influences disease, insect, and mite pests of 'Delicious' apples. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 106:469-474.

Raese JT (1981) Increasing cold hardiness of apple trees by over-tree misting in early autumn. **HortSci.** 16:649-650.

Shen Y (2000) Strategy of Climate and Meteorological Environment changes in Taiwan Area. p. 74-82. (in Chinese) Seminar of Modern Crop Science Development.

Shih JC (1998a) Automatic misting system against disaster in orchard. (in Chinese) **Spray. Tech. Serv**. 5:6-7.

Shih JC (1998b) Automatic spraying and irrigation system for physiological regulation in orchards. (in Chinese) **Spray. Tech. Serv.** 5:8.

Shih JC (1999a) The use of artificial intelligent automatic spraying system to overcome the physiological barriers of crops by transpiration cooling. (in Chinese) **Spray. Tech. Serv.** 6:44-46.

Shih JC (1999b) Technical manual of automatic multi-functional shelter system in orchards. (in Chinese) p.1-13.

Spieler G (1994) Microsprinklers and microclimate. **Intl. Water Irri. Rev.** 14:14, 17.

Strang JG, PB Lombard, MN Westwood (1980) Effects of tree vigor and bloom delay by evaporative cooling on frost hardiness of 'Bartlett' pear buds, flowers, and small fruit. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 105:108-110.

Swartz HJ, LJ Edgerton, LEJr Powell (1977) The potential of evaporative cooling to delay bud break and dehardening of deciduous fruit trees in New York. Proc. Ann. Meeting – N. Y. S. **Hort. Soc.** 122:172-174.

Unrath CR (1973) Interaction of irrigation, evaporative cooling, and ethephon on fruit quality of 'Delicious' apple. **HortSci.** 8:318-319.

Unrath CR, RE Sneed (1974) Evaporative cooling of 'Delicious' apples -the economic feasibility of reducing environmental heat stress. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 99:372-375.

Unrath CR (1975) Cool off for better apples. **Amer. F. Grower.** 95:11-12.

Valentine BJ (1980) Evaporative cooling of strawberries in the field. **Agric. Gaz. N. S. Wales.** 91:14-15.

Young K, NH Galbreath, EW Hewitt (1979) A system for regulating sprinkling during evaporative cooling of apple buds to delay bloom. **J. Agric. Engin. Res.** 24:209-213.

－編輯：楊純明